

Premiers essais de l'Aéroclipper

L'Aéroclipper est un nouvel instrument de mesure conçu pour « naviguer » sur les océans de façon quasi lagrangienne¹, c'est-à-dire en se déplaçant dans le sens et à une vitesse proche de celle du vent de surface. Un Aéroclipper est constitué d'un ballon tétraédrique fermé de 6 à 7 mètres d'arête, gonflé à l'hélium et stabilisé verticalement à une hauteur de 60 m par un guiderope, cordage fixé au ballon et flottant à la surface de l'océan. La forme tétraédrique permet d'avoir un plus fort coefficient de traînée (meilleure prise au vent et donc trajectoire plus « lagrangienne ») comparé à un ballon sphérique d'égal volume. De plus, ces ballons sont beaucoup plus faciles à réaliser avec un matériau permettant de minimiser les fuites d'hélium. Le guiderope maintient le système en équilibre archimédien puisque toute diminution (resp. augmentation) de la poussée verticale du ballon est compensée par le dépôt (resp. le soulèvement) d'une masse correspondante de guiderope. Le guiderope fonctionne donc comme un lest automatique, s'allégeant quand le ballon descend, augmentant quand il monte.

Le guiderope sert également de support pour le montage de nacelles atmosphériques ou océaniques (voir illustration 1). Le projet a été initié par C. Tockert de la division Ballon du Centre national d'études spatiales (Cnes). Trois prototypes d'Aéroclipper, équipés d'un capteur de température de la mer, ont été lancés de Madère en juin 2000. Cette expérience a parfaitement validé le concept du porteur, aussi bien pour les parties aérienne et océanique du véhicule que pour l'électronique de traitement et de transmission des données par satellite. Pendant ces vols, les Aéroclippers ont subi des vents supérieurs à 10 m/s et ont bien résisté aux fortes turbulences créées par le passage du vent de nord-est sur le relief de l'île de Madère (voir illustration 2).

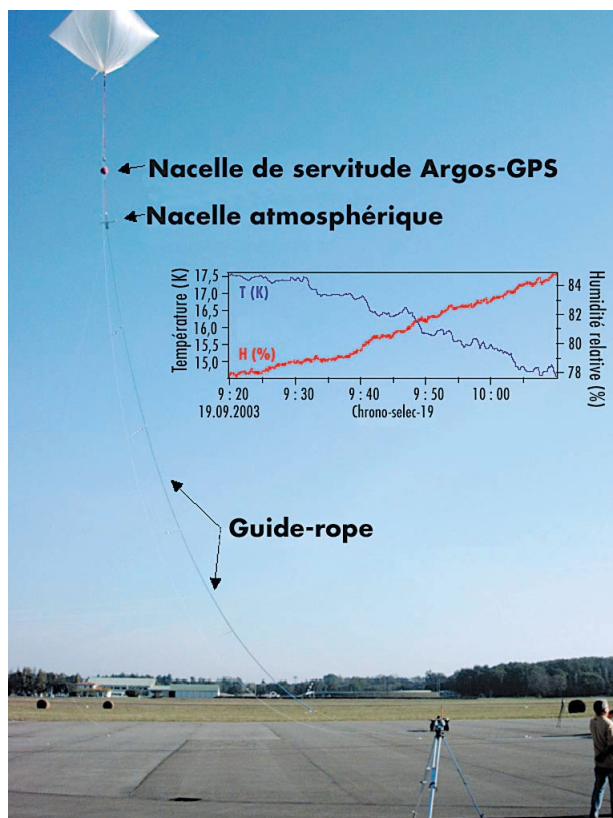
À la suite de discussions entre le Laboratoire de météorologie dynamique (LMD) et le Cnes, une coopération a été décidée pour le développement d'une instrumentation atmosphérique et océanique, dite physique, des Aéroclippers. Cette instrumentation a pour but de mesurer les paramètres atmosphériques et océaniques à la surface de la mer et d'estimer les flux turbulents de moment (tension de vent à la surface), de chaleur sensible et de chaleur latente (évaporation).

**Une plate-forme
instrumentale originale
pour étudier l'interface
océan-atmosphère**

Jean-Philippe Duvel

Laboratoire de météorologie dynamique

1. Ndlr. En mécanique des fluides, on distingue le point de vue de Lagrange, qui consiste à étudier les phénomènes en suivant le cours du fluide, et le point de vue d'Euler qui consiste à les étudier en un point fixe



1 - Vue de l'Aéroclipper pendant une séance d'essais statiques à Aire-sur-l'Adour en septembre 2003. La hauteur de la nacelle atmosphérique est d'environ 30 m. La tension horizontale du guiderope, correspondant à la traînée horizontale du ballon, est mesurée en bout de guiderope (sur la droite en dehors de la photo). Les courbes représentent les mesures des capteurs de température et d'humidité relative de la nacelle atmosphérique entre 9 h 20 et 10 h 10.

Des Aéroclippers pour Vasco

Des Aéroclippers ainsi équipés seront utilisés pour la première fois au cours de l'expérience Vasco (Variabilité atmosphérique intrasaisonnière et couplage océanique). L'objectif de cette expérience est au cœur des préoccupations scientifiques actuelles sur la détermination de l'origine physique et la prévisibilité d'oscillations intrasaisonnières (30-60 jours) d'amas orageux sur des échelles de plusieurs milliers de kilomètres. En hiver (de janvier à mars), ces oscillations se déplacent vers l'est au sud de l'équateur dans la région indopacifique.

L'expérience Vasco aura lieu dans l'océan Indien, région de naissance de ces perturbations où le couplage océan-atmosphère pourrait jouer un rôle particulièrement important. L'expérience Vasco, en association avec des observations océanographiques coordonnées par le Laboratoire d'océanographie physique

2. Ndlr. Au cours de l'hiver boréal, en océan Indien et dans le Pacifique ouest, la Zone de convergence intertropicale (ZCIT), vers laquelle convergent les alizés de l'hémisphère nord et de l'hémisphère sud, se trouve au sud de l'équateur (vers 10° S). En franchissant l'équateur, les alizés de l'hémisphère nord virent du nord-est au nord-ouest sous l'effet du changement de sens de la force de coriolis.

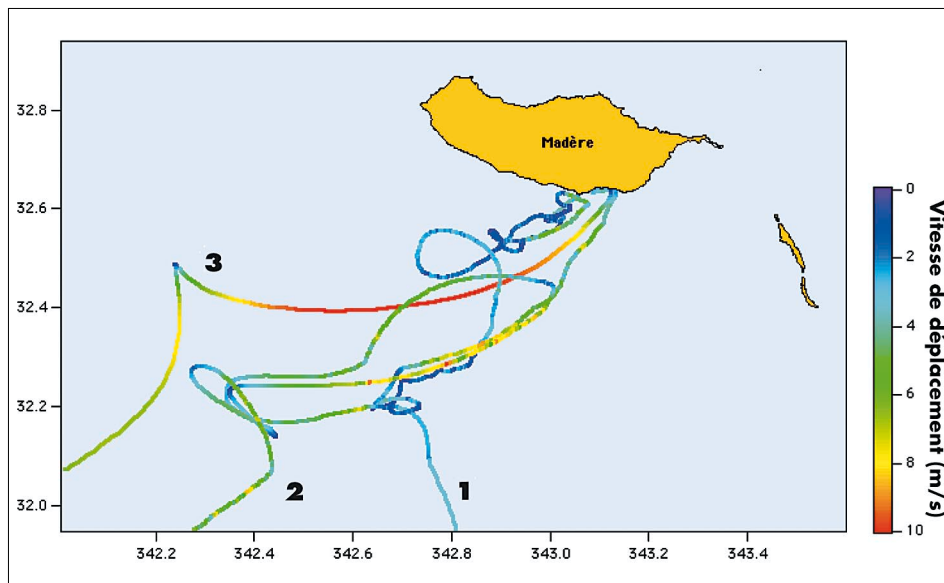
et de climatologie (Lodyc), a pour objectif de déterminer et de quantifier les processus physiques à l'origine de ce couplage et ainsi de mieux modéliser et prévoir ces oscillations. Les observations océanographiques comprendront des profils verticaux de température et de salinité faits par 23 flotteurs dérivants de subsurface Argo/Provor, situés autour et au sud de l'équateur, et des profils verticaux de courants mesurés par des mouillages fixes comportant courantomètres et profileurs acoustiques (ADCP), mis en place par le National Institute for Oceanography de Goa (Inde). Ces données seront complétées par celles du Sagar Kania, navire océanographique indien. Les paramètres de surface seront mesurés par l'Aéroclipper avant, pendant et après le passage de la perturbation intrasaisonnière, dans une région où très peu de mesures existent. La collecte des mesures sur l'ensemble des phases de l'oscillation sera rendue possible par la grande souplesse de mise en œuvre

des Aéroclippers. Pour Vasco, 10 à 20 Aéroclippers seront lancés depuis les îles Seychelles et navigueront vers l'est au sud de l'équateur en suivant les vents dominants pour cette saison². La faisabilité de ce type de mesure a déjà été évaluée par des simula-

tions de trajectoires d'Aéroclippers dans les vents de surface provenant des analyses météorologiques du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (voir illustration 3).

Les Aéroclippers emporteront trois nacelles. La nacelle de servitude permet principalement de localiser le ballon par GPS (*Global Positioning System*) et de transmettre l'ensemble des mesures par le système Argos. Cette première nacelle embarque aussi un système assurant la sécurité, capable de commander la séparation du ballon et du guide-rope lorsque l'attelage aborde une région « interdite » (les côtes principalement) ou au bout du maximum de temps de vol autorisé (de l'ordre de 30 jours). La nacelle atmosphérique emporte des capteurs pour la mesure de la température, de l'humidité de l'air, du vent relatif (par rapport au déplacement de l'Aéroclipper) et de la pression. Par construction, les effets de structure de l'Aéroclipper sont petits comparés à ceux d'autres plates-formes telles que les bateaux ou les bouées ; les mesures sont donc moins perturbées par l'environnement. La nacelle océanique, située à l'extrémité du guiderope, est équipée de capteurs pour la mesure de la température à 10 cm et à 40 cm de profondeur (par vent faible, le flotteur plongeant légèrement pour des vitesses plus élevées), de la salinité à 40 cm et de la vitesse par rapport à l'eau. Le pas de temps d'échantillonnage des capteurs est d'une minute. Les moyennes de ces mesures sur quinze minutes, ainsi que des grandeurs calculées à bord comme le module moyen du vent, sont retransmises en temps quasi réel via le système Argos. Ces mêmes mesures sont également retransmises en fin de vol avec un pas de temps de moyenne de cinq minutes.

2 - Trajectoires des trois Aéroclippers lancés depuis Madère en juin 2000. La couleur représente la vitesse de déplacement des Aéroclippers (m/s).



Prochains essais à Banyuls

Comme tout nouveau concept instrumental, l'Aéroclipper demande pour être validé de nombreuses études, aussi bien théoriques qu'empiriques. Des essais de la nacelle océanique ont été conduits avec succès depuis le port de Banyuls en juin 2003. La nacelle océanique fixée à l'extrémité du guiderope marin et tractée par le *Néréis II*, navire océanographique de l'INSU, a montré une bonne tenue à la mer. Les mesures prises pendant ces essais montrent que les capteurs et l'électronique associée fonctionnent parfaitement. Les caractéristiques hydrodynamiques de la nacelle (traînée, profondeur en fonction de la vitesse) ont été quantifiées plus précisément dans le bassin des carènes de l'université de Liège en novembre 2003. Entre-temps, une première série d'essais de la nacelle atmosphérique et de la mécanique de l'ensemble constitué du ballon et du guiderope a été menée depuis le centre d'Aire-sur-l'Adour du Cnes en septembre 2003. Tous ces essais, destinés à vérifier les mesures et le comportement mécanique de l'attelage, permettent également de fournir les paramètres nécessaires à un modèle mécanique du système Aéroclipper. Ce modèle est nécessaire pour comprendre et prévoir les variations de l'inclinaison du guiderope en fonction du vent et des coefficients de traînée hydrodynamique du flotteur et aérodynamique du ballon. Ce modèle permet donc de préparer le traitement des mesures. Un premier test de l'Aéroclipper complet devrait avoir lieu au large de Banyuls, au printemps 2004, et les premiers vols scientifiques devraient parcourir l'océan Indien en février-mars 2005.

4 - Vue de la nacelle océanique et du guiderope pendant les essais de Banyuls et, en incrustation, vue de la nacelle océanique avec l'aileron instrumenté.



L'Aéroclipper est un instrument parfaitement adapté pour les mesures de longue durée (jusqu'à 30 jours), pratiquement en continu, des paramètres de surface et des flux turbulents à l'interface air-mer dans des régions difficilement accessibles par des moyens plus traditionnels (bateaux, avions). L'Aéroclipper est de plus le premier système donnant ce type de mesure sur des trajectoires quasi lagrangiennes. Il offre donc l'occasion de vérifier les méthodes d'estimation de ces flux.

L'Aéroclipper est aussi un moyen original de faire des sections horizontales (en quelque sorte « synoptiques ») très intéressantes de la structure thermohaline de surface à différentes échelles. Ceci pourra être utilisé pour estimer l'effet des fortes précipitations tropicales sur la température et la salinité de la couche de surface océanique (création de couches « barrières » ou de « lentilles » d'eau peu salée).

L'Aéroclipper pourrait être utilisé de façon opérationnelle pour compléter les données dans des régions sensibles comme l'océan Indien ou le Pacifique, pour étalonner les

données satellites des paramètres de surface et des flux correspondants et pour fournir des informations complémentaires sur la structure de plus grande échelle des champs de surface dans et en dehors d'un réseau de bouées comme le réseau TAO du Pacifique équatorial.

Réinventer la navigation à voile

Pour finir sur un ton plus léger et prospectif, on peut noter que l'Aéroclipper pourrait sans doute être amélioré en incluant un contrôle des trajectoires, en utilisant le ballon comme voilure principale, le guiderope traînant dans l'eau comme plan anti-dérive et une petite voile supplémentaire sous le ballon pour le diriger. L'idée n'est pas nouvelle. Un mémoire soumis à l'Académie des sciences en 1895 par SA Andrée pour soutenir le projet d'une expédition en ballon vers le pôle Nord – expédition qui se terminera hélas dramatiquement – fait état d'un ballon « équipé comme un ballon guiderope, c'est-à-dire muni d'un ou plusieurs cordages, traînant sur le sol ». Pour SA Andrée, « ces cordages ont pour objet d'entraver légèrement le ballon dans sa marche, afin qu'il ne se meuve pas avec la pleine vitesse du vent, et que la différence entre la vitesse du ballon et celle du vent puisse être utilisée par la voile établie sur le ballon ». Un futur développement qu'il serait intéressant d'envisager pour l'Aéroclipper et qui décuplerait ses possibilités !

3 - Simulation de la trajectoire d'un Aéroclipper lancé depuis les Seychelles le 5 mars 2000 à 16 h 30 et finissant par atteindre les côtes Birmanes le 19 mai 2000. La couleur représente la température de surface mesurée (°K).

